لیزر در پزشکی 1402/ دوره 20 / شماره (2) / صفحات 12-5.

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر استفاده از پلیمر نیمه‌طبیعی HPMC در شفاف‌سازی پوست موش

سعید ضیائی [1]
محمدعلی انصاری [1*]
وحید قطبی ملکی [2]
صمد نژاد ابراهیمی [2]

1. دانشجوی دکتری فوتونیک، گروه فوتونیک، آزمایشگاه تصویربرداری نوری زیستی، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران

1. دانشیار گروه فوتونیک، آزمایشگاه تصویربرداری نوری زیستی، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران

2. دانشجوی دکتری فیتوشیمی، آزمایشگاه فیتوشیمی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهیدبهشتی تهران

2. دانشیار گروه فیتوشیمی، آزمایشگاه فیتوشیمی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهیدبهشتی تهران

نویسندگان مسئول: محمدعلی انصاری

پست الکترونیکی:
m_ansari@sbu.ac.ir

شماره تماس:
09122586437

چکیده

مقدمه: امروزه شفاف‌سازی بر روی بافت‌های زیادی بخصوص پوست صورت بالینی و آزمایشگاهی می‌گیرد. مواد تشکیل‌دهنده بافت که عمدتاً پروتئین‌ها، لیپیدها، آب میان بافتی و عروق خونی است، باعث پراکندگی شدید نور شده و نفوذ نور به اعماق بافت را محدود می‌کنند. این محدودیت باعث عدم دستیابی به اطلاعات ساختاری و تشکیل‌دهنده بافت توسط نور و کاهش در وضوح تصویربرداری نوری می‌شود. در این مطالعه با استفاده از شفاف‌سازهای مبتنی بر پلیمر نیمه‌طبیعی HPMC و سوربیتول و با بکارگیری روغن نارگیل، توئین 20 (که به اختصار CSC1 و CSC2 نامیده شدند)، پارامترهای اپتیکی نمونه بافت پوست توسط روش طیف نشر بازتابی (DRS) مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: برای بدست‌آوردن طیف‌های بازتابی و عبوری بافت از روش طیف‌سنجی نشر بازتابی (DRS) استفاده شده است. سپس با استفاده از مقادیر بدست‌آمده و جایگذاری در رابطه کرامرز –کرونیگ می‌توان ضریب شکست را قبل و بعد از اعمال شفاف‌ساز بدست آورد. همچنین پارامترهای اپتیکی دیگر نظیر ضریب جذب، ضریب تضعیف کل و ضریب انتشار از طیف‌های بازتابی و عبوری محاسبه شده است.

یافته‌ها: تاثیر استفاده از دو محلول پیشنهادی روی تغییرات ضریب شکست، ضریب جذب و ضریب انتشار محلول‌های شفاف‌ساز در فرایند شفاف‌سازی پوست موش بررسی شد.

نتیجه‌گیری: می‌توان گفت که پلیمر نیمه‌طبیعی HPMC در حفظ ساختار محلول شفاف‌ساز نقش موثری داشته است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که محلول CSC2 شفاف‌سازی را بهتر انجام داده و درنهایت نور بیشتر به بافت نفوذ خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: شفاف‌ساز اپتیکی، خواص اپتیکی پوست، کرامرز – کرونیگ

مقــدمه

شفاف‌سازی اپتیکی ابتدا سال 1914 توسط اسپاتهولتز[1] (کالبدشناس آلمانی1861-1940) برای مشاهده ساختار عروق قلبی به صورت سه‌بعدی که توسط پرتو ایکس امکان‌پذیر نبود، معرفی شد. به همین منظور با غوطه‌ورسازی[2] بافت ماهیچه در زایلین[3] موفق به شفاف‌سازی این بافت شد. بعد از او دانشمندان زیادی به این فرآیند روی آوردند که این امر باعث شد روش اسپاتهولتز تا امروز مورد استفاده قرار بگیرد. در سال 1955 بارر[4] و همکارانش ازجمله دانشمندانی بودند که با استفاده از روش غوطه‌ورسازی شفاف‌سازی نوری سوسپانسیون‌های سلولی را با استفاده از محلول پروتئینی با ضریب شکست مشابه سیتوپلاسم سلولی پیشنهاد کردند. سپس این روش توسط والری توچین[5] و گروه علمی خود برای اولین بار در سال 1987 بر روی سایر بافت‌ها (صلبیه چشم) صورت گرفت. [1].

امروزه شفاف‌سازی بر روی بافت‌های زیادی به‌خصوص پوست صورت بالینی و آزمایشگاهی می‌گیرد. مواد تشکیل‌دهنده بافت که عمدتاً پروتئین‌ها، لیپیدها، آب میان بافتی و عروق خونی است، باعث پراکندگی شدید نور شده و نفوذ نور به اعماق بافت را محدود می‌کنند. این محدودیت باعث عدم دستیابی به اطلاعات ساختاری و تشکیل‌دهنده بافت توسط نور و کاهش در وضوح تصویربرداری نوری می‌شود[2]. در این گزارش نیز بافت پوست موش مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌طورکلی پوست دارای سه لایه به نام‌های اپیدرم، درم و هایپودرم می‌باشد. اپیدرم بالاترین سطح پوست به ضخامت 100-150 میکرومتر بوده که متشکل از سلول‌های کراتینوسیت[6] است و به دو بخش زنده و غیر زنده تقسیم می‌شود. ناحیه غیرزنده آن در معرض با عوامل خارجی قرار دارد و با چشم غیرمسلح نیز دیده می‌شود. بسته به تعداد ردیف و شکل سلول‌ها، دو بخش زنده و غیرزنده به پنج قسمت استراتوم کورنیوم، استراتوم اسپینوسوم، استراتوم گارنولوسوم، استراتوم اسپینوسوم و استراتوم باسال که لایه بالای درم است، تقسیم می‌شوند. ساختار پوست موش نیز از نظر لایه و سلول شبیه به پوست انسان که در بالا توضیح داده شد می‌باشد و تفاوت تنها در تعداد لایه سلول‌ها و ضخامت مشاهده می‌شود. ضخامت پوست انسان بالای صد میکرومتر، سفت و به بافت‌های زیرین چسبیده است. درحالی‌که ضخامت پوست موش کمتر از 25 میکرومتر و شل می‌باشد. برای مثال لایه اپیدرم پوست انسان شامل 5 الی 10 لایه سلول ولی اپیدرم موش تنها دارای 2 الی 3 لایه سلول است. یا برجستگی‌های اپیدرم پوست انسان که پاپیلاری درم را برش می‌زند به‌طورمعمول در موش وجود ندارد. همچنین پوست موش پوشیده از فولیکول‌های مو است درصورتی‌که پوست انسان توزیع کم و ناهمگونی از فولیکول دارد [3]،[4]،[2]. بدین‌ترتیب استفاده از پوست موش بجای پوست انسان به لحاظ شباهت زیاد جهت بررسی خواص اپتیکی این نوع بافت، مطلوب می‌باشد.

مطالعات زیادی برای افزایش عمق نفوذ نور در بافت پوست با استفاده از مواد مختلف صورت گرفته است. از جمله آنها می‌توان به بررسی بازتاب از پوست انسان با ترکیب پارافین مایع و گلیسرول بی‌آب توسط چن[7] و همکارانش به عنوان یک عامل افزایش عمق نفوذ نور اشاره کرد. نتایج آنها نشان داده است که پارافین مایع می‌تواند نفوذ گلیسرول از راه پوست را افزایش دهد و اثر شفاف‌سازی نوری با گلیسرول بر روی نوارهای موج مرئی و فروسرخ نزدیک داشته باشد [5]. همچنین برای مشاهده سایر مطالعات به مرجع شماره [2] مراجعه کنید.

در این مطالعه با استفاده از شفاف‌سازهایی که از پلیمر نیمه‌طبیعی HPMC[8]، روغن نارگیل، توئین 20 و سوربیتول [6] (که به اختصار CSC1 و CSC2 نامیده شدند) تشکیل شده‌اند، پارامترهای اپتیکی نمونه بافت پوست توسط روش طیف نشر بازتابی (DRS[9]) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست‌آمده در جداول 1 و 2 نشان

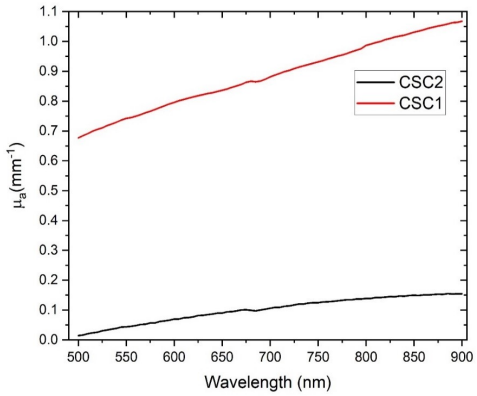
[1] Spalteholz
[2] Immersion
[3] Xylene
[4] Barer
[5] Valery Tuchin
[6] Keratinocyte

[7] Chen
[8] Hydroxypropyl methylcellulose
[9] Diffuse Reflectance Spectroscopy

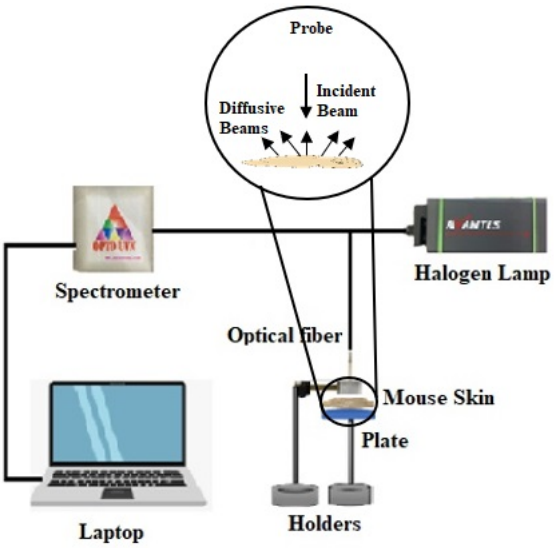
می‌دهد پراکندگی ناشی از اجزای تشکیل‌دهنده بافت توسط این محلول‌ها کاهش یافته است. همچنین با توجه به این جداول و همچنین شکل 5 می‌توان دریافت که شفاف‌سازی توسط CSC2 به‌دلیل حضور پلیمر نیمه طبیعی HPMC که باعث حفظ ساختار می‌شود، بهتر صورت گرفته است. این پلیمر به‌عنوان یک پلیمر طبیعی و خوراکی، نه تنها نفوذ را افزایش می‌دهد، بلکه شفافیت ماتریس کامپوزیت را نیز بهبود می‌بخشد. با افزایش غلظت آن، شفافیت فیلم حاصل نیز افزایش می یابد [7]. از نوآوری‌های این مطالعه می‌توان به معرفی محلولی بدون عوارض، سرعت بالای شفاف‌سازی، کم‌هزینه‌بودن و افزایش عمق نفوذ نور در پوست اشاره کرد که در مقایسه با شفاف‌سازهای موجود ارائه‌شده در مرجع [2] قابلیت قابل قبولی دارد. به این ترتیب می‌توان از این نوع محلول شفاف‌ساز در تصویربرداری‌های نوری جهت تشخیص، درمان و حتی دارورسانی بهره برد.

مواد و روش آزمایش

نمونه‌های پوست موش (Balb/c,20-25g,6-8 weeks) از جهاد دانشگاه بهشتی تهران تهیه شد. قبل از اعمال شفاف‌ساز ابتدا نمونه بر روی لام قرار داده شده و طیف‌های بازتابی و عبوری توسط پراب بازتابی و عبوری (-ME200-2UVIR7Avantes-FCR-) در محدوده طول موجی 500 تا 700 نانومتر بدست آمد. سپس محلول‌های شفاف‌ساز با همکاری پژوهشکده گیاهان دارویی با نام‌های CSC1 و CSC2 که بدون عوارض است تهیه و از طریق غوطه‌ورسازی بافت درون آنها، فرآیند شفاف‌سازی شکل گرفت. ترکیب این محلول‌ها شامل سوربیتول 60%، 30% آب، 5% توئین 20، 5% روغن نارگیل و نسبت 1:10 w/w پلیمر نیمه‌طبیعی HPMC می‌باشد. تفاوت محلول CSC1 و CSC2 تنها در این پلیمر نیمه‌طبیعی می‌باشد که در CSC2 بکار رفته است. پس از 30 دقیقه غوطه‌ورسازی نمونه‌ها از محلول‌ها خارج و خواص اپتیکی هر 15 دقیقه اندازه‌گیری شد (در این حالت تبخیر آب میان بافتی بر شفاف‌سازی تاثیر گذاشته که خود یک فرآیند شفاف‌سازی محسوب می‌شود). به‌این‌ترتیب می‌توان گفت که در این مطالعه، شفاف‌سازی ازطریق غوطه‌ورسازی با شفاف‌سازی ازطریق تبخیر آب میان بافتی ترکیب شده است. نتایج بدست آمده در جدول 1 و 2 برای هر دو شفاف‌ساز مشاهده می‌شود. این خواص با استفاده از روابط (3)، (4) و (5) محاسبه شده‌اند. در ادامه از این محلول‌ها طیف جذبی UV با استفاده از دستگاه AvaSpec-3648 Fiber Optic Spectrometer بدست آمد.



شکل 1. ضریب جذب محلول‌های CSC1 و CSC2.



شکل2. شماتیک چیدمان اندازه گیری

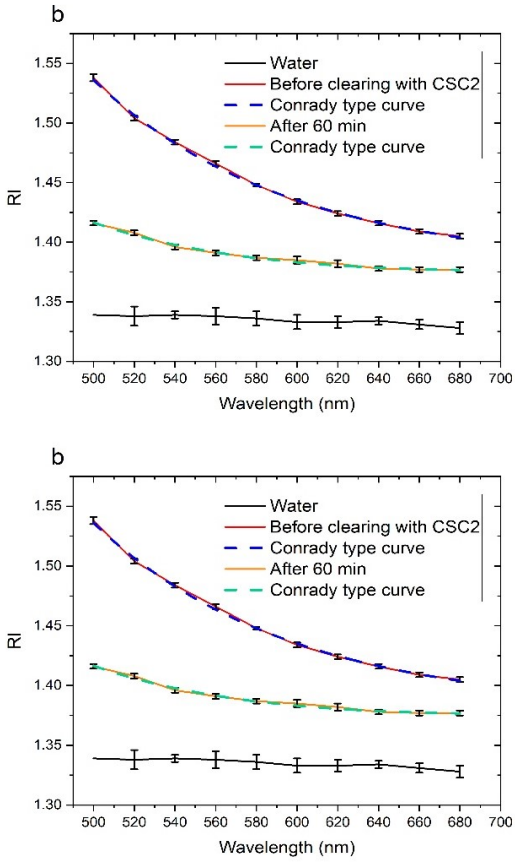
اجزای شماتیک چیدمان اندازه‌گیری عبارتند از 1. گیره نگهدارنده 2. پلیت 3. نمونه پوستی 4. پراب بازتابی 5. لامپ 6. طیف‌سنج 7. سیستم کامپیوتر جهت ثبت طیف. لازم به ذکر هست با قراردادن پراب دیگر در زیر نمونه، طیف عبوری نیز بدست می‌آید. در شکل 1. دلیل اختلاف جذب دو محلول شفاف‌ساز نیز خاصیت ذاتی HPMC می‌باشد. HPMC به‌طورطبیعی دردسترس‌بودن مولکول‌های آب آزاد را افزایش می‌دهد. ضمن اینکه این واقعیت کاملاً شناخته شده است که ضریب جذب با افزایش مولکول های آب غیرهیدراته افزایش می‌یابد [11]. هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC)، با خاصیت خود یعنی امولسیون‌کننده ذاتی خود، جذب موادی را که در آب نامحلول هستند یا حلالیت کمی دارند، افزایش می‌دهد. این به‌طور بالقوه می‌تواند پایداری ذرات روغن را بهبود بخشد. بنابراین ذرات موجود در محلولی که دارای این پلیمر باشد جذب‌شده ولی در محلول دیگر همچنان به حالت اولیه خود می‌باشند [11].

یافته‌ها

با توجه به مقادیر پارامترهای گزارش‌شده در جدول 1 و 2 و همچنین تصاویر قبل و بعد از شفاف‌سازی در شکل 4 می‌توان دریافت که شفاف‌سازی توسط این محلول‌ها انجام شده است بااین‌وجود شفاف‌سازی محلول CSC2 قابل توجه می‌باشد. این مورد به‌دلیل استفاده از پلیمر نیمه‌طبیعی HPMC می‌باشد که باعث حفظ انسجام ساختار محلول در حین نفوذ و شفاف‌سازی بافت می‌باشد. بدین‌ترتیب به محلولی که با سرعت بالاتری شفاف‌سازی قابل قبولی را انجام می‌دهد دست یافتیم.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نمودارهای شکل3، مشاهده می‌شود که با گذشت زمان میزان ضریب شکست بافت از مقدار 1.57 به 1.35 برای محلول CSC1 و از 1.56 به 1.33 برای محلول CSC2 کاهش پیدا کرده است که حاکی از افزایش عمق نفوذ نور در بافت ناشی از کاهش پراکندگی می‌باشد. به این صورت که باید در نظر داشت که پارامتر ضریب شکست بدست‌آمده از رابطه کرامرز - کرونیگ، با استفاده از ضریب بازتاب پخشی بدست‌آمده که در مقایسه با ضریب شکست‌های حاصل از ضریب جذب نمونه [12] اختلاف دارد. این اختلاف ناشی از این می‌باشد که ضریب بازتاب پخشی به‌دلیل بازتاب آیینه‌ای از سطح نمونه غوطه‌ورشده در محلول شفاف‌ساز و همچنین پراکندگی‌های زیاد متوالی از لایه‌های مختلف نمونه باعث رسیدن مقدار فوتون‌های بیشتری به پراب‌شده و درنتیجه مقادیر بالایی برای ضریب شکست را بدست می‌دهد. همچنین این مقدار (به‌خصوص بالای 1.45) در ضریب شکست را می‌توان به تاخیر فاز نور ناشی از این پراکندگی‌ها مرتبط دانست [13]. با کاهش پراکندگی ناشی از استفاده از شفاف‌سازها مقدار ضریب شکست به مقدار واقعی خود نزدیک می‌شود.



شکل3. طیف‌های ضریب شکست نمونه پوست موش در محلول‌های CSC1 و CSC2 قبل از شفاف‌سازی و بعد از 60 دقیقه شفاف‌سازی. نمودارهای a طیف بازتابی مربوط به محلول CSC2 و b مربوط به محلول CSC1 است.

در ادامه مقادیر دیگر پارامتر های اپتیکی پوست موش در جدول 1 و2 برای شفاف سازهای بکار رفته، گزارش شده است.

با بررسی مقادیر پارامترهای اپتیکی در جداول 1 و 2 می‌توان مشاهده کرد که ضخامت با گذشت زمان تحت شفاف‌سازی با هر دو محلول کاهش یافته است. ضخامت نمونه از 1.1 میلی‌متر به 0.4 میلی‌متر برای محلول CSC1 و در نمونه دوم از 1.08 میلی‌متر به 0.49 میلی‌متر برای محلول CSC2 تغییر داشته است. از این کاهش می‌توان نتیجه گرفت که بافت دچار انقباض شده است که به‌خاطر در معرض هوا قرار داشتن نمونه و تبخیر آب آن پس از خارج‌شدن از محلول‌ها می‌باشد. همین‌طور مقدار بازتاب برای هر دو محلول پس از شفاف‌سازی نیز کاهش و ضریب عبور افزایش پیدا کرده است. این بدان معنا می‌باشد که شفاف‌سازی توسط دو محلول به‌خوبی صورت گرفته و نور بیشتری از آن عبور می‌کند. ضریب انتشار نیز کاهش پیدا می‌کند. با کاهش در ضریب انتشار می‌توان به این نتیجه رسید که محلول دوم شفاف‌سازی را زودتر از محلول اول انجام می‌دهد (یعنی محلول اول هنوز در حال شفاف‌سازی می‌باشد). و این همان هدف مطالعه است یعنی دست‌یافتن به شفاف‌سازی که سرعت بالاتر و شفافیت بیشتری داشته باشد (شکل 4 را ببینید). این ادعا را می‌توان با مراجعه به مرجع [2] و بررسی جدول مربوط به سرعت انتشار محلول‌های شفاف‌ساز به‌وضوح مشاهده کرد.

برای مثال طی شفاف‌سازی پوست موش با استفاده از محلول گلوکز مقدار ضریب انتشار $1.1 \times 10^{-6} \frac{cm^2}{s}$ و با استفاده از محلول گلیسرول $3.2 \times 10^{-6} \frac{cm^2}{s}$ بدست آمده است[2]. اما در جدول 2 این ضریب برای محلول CSC2 از مرتبه 10^{-5} می‌باشد. همچنین می‌توان گفت که پلیمر نیمه‌طبیعی HPMC که در حفظ ساختار محلول نقش داشته، موثر بوده است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که هر چه ترکیب محلول مورد استفاده ساختار خود را در حین شفاف‌سازی بیشتر حفظ کند، شفاف‌سازی را بهتر انجام‌داده و درنهایت نور بیشتر به بافت نفوذ خواهد کرد. این حفظ ساختار یکی از خاصیت‌های پلیمر مورد استفاده می‌باشد [14-23] . ضمن اینکه همان‌طورکه در بخش مواد و روش آزمایش بیان شد باید توجه داشت علاوه‌بر فرآیند شفاف‌سازی توسط محلول‌ها، فرآیند دیگر که هوا می‌باشد در شفاف‌سازی تاثیر دارد. زیرا این عامل باعث تبخیر آب میان بافتی‌شده و باعث انقباض بافت می‌شود [2].

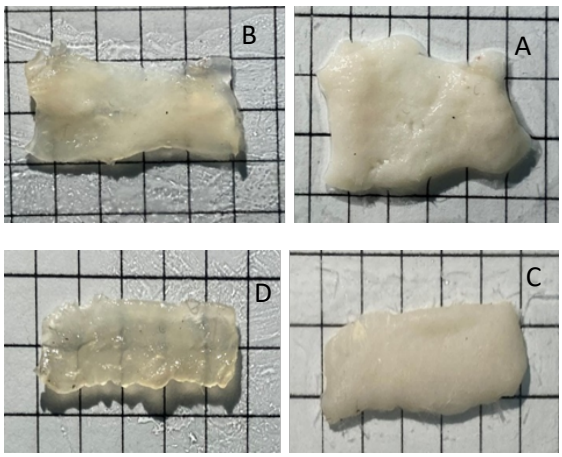
افزایش ضریب تضعیف را می‌توان به اجزای تشکیل‌دهنده بافت نسبت داد. بااین‌وجود دلیل اصلی این افزایش، محلول‌های مورد استفاده در این مطالعه می‌باشند که جذب آنها در شکل 1 قابل مشاهده است.

جدول1. مقادیر کمیت‌های اندازه‌گیری‌شده در این مطالعه. [λ=500-700(nm)]

بافت	پارامتر	واحد	شفاف‌ساز	قبل از شفاف‌سازی	15 دقیقه بعد از شفاف‌سازی	30 دقیقه بعد از شفاف‌سازی	45 دقیقه بعد از شفاف‌سازی
پوست موش Balb/c/25g/6-8 weeks))	ضخامت (d)	mm	CSC1	1,1	0,77	0.52	0,4
	بازتاب برحسب درصد (R)	---	CSC1	5.53-3.46	4.91-3.63	3.70-2.97	2.50-2.31
	عبور برحسب درصد (T)	---	CSC1	4.76-5.35	4.85-7.26	8.89-12.36	12.92-17.47
	ضریب شکست (RI)	---	CSC1	1.57-1.45	1.56-1.47	1.47-1.41	1.37-1.35
	ضریب تضعیف کل (μ_t)	mm^{-1}	CSC1	2.76-2.66	3.92-3.40	4.65-4.01	5.11-4.36
	ضریب انتشار (D_a)	cm^2/s	CSC1	0	$(1-3)\times10^{-4}$	$(7.3-8.5)\times10^{-5}$-	$(4.98-6.92)\times10^{-5}$

جدول2. مقادیر کمیت‌های اندازه‌گیری‌شده در این مطالعه. [λ=500-700(nm)]

بافت	پارامتر	واحد	شفاف‌ساز	قبل از شفاف‌سازی	15 دقیقه بعد از شفاف‌سازی	30 دقیقه بعد از شفاف‌سازی	45 دقیقه بعد از شفاف‌سازی
پوست موش Balb/c/25g/6-8 weeks))	ضخامت (d)	mm	CSC2	1,08	0,81	0,6	0,49
	بازتاب برحسب درصد (R)	---	CSC2	5.04-3.46	4.76-4.15	1.67-1.92	1.78-2.05
	عبور برحسب درصد (T)	---	CSC2	0.78-0.88	3.12-3.86	6.25-8.88	11.63-14.03
	ضریب شکست (RI)	---	CSC2	1.56-1.45	1.55-1.51	1.33-1.36	1.34-1.37
	ضریب تضعیف کل (μ_t)	mm^{-1}	CSC2	4.49-4.37	4.27-4.01	4.61-4.03	5.37-4.90
	ضریب انتشار (D_a)	mm^2/s	CSC2	0	$13-)\times10^{-5}$ (17	$(6-7.85)\times10^{-5}$	$(4.45-5.44)\times10^{-5}$



شکل4. A. نمونه قبل از شفاف‌سازی جهت استفاده محلول CSC1.
B. نمونه بعد از 45 دقیقه شفاف‌سازی با CSC1
C. نمونه قبل از شفاف‌سازی جهت استفاده از محلول CSC2.
D. نمونه بعد از 45 دقیقه شفاف‌سازی با CSC2

تشکر و قدردانی

این اثر تحت حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته از طرح شماره (98029460) انجام شده‌است.

References

1. LevyJL, PonsF, AgopianL, BessonR,Subjective Evaluation and Objective Measurement Methods in Cosmetic Dermatology,Medical Laser Application 2004,19(4), 223-229, https://doi.org/10.1078/1615-1615-00146.
2. Babadi M, Mohajerani E, Ataie-Fashtami L, Zand N, Shirkavand A. Quantitative Analysis of Skin Erythema Due to Laser Hair Removal: A Diffusion Optical Spectroscopy Analysis. J Lasers Med Sci. 2019 Spring;10(2):97-103. doi: 10.15171/jlms.2019.16. Epub 2019 Feb 25. PMID: 31360377; PMCID: PMC6499568.
3. Shirkavand A, Sarkar S, Ataie fashtami L, Mohammadreza H, Detection of Melanoma Skin Cancer by Elastic Scattering Spectra: A Proposed Classification Method, Iranian Journal of Medical Physics, 2017, 14(3), 162-166, DOI: 10.22038/ijmp.2017.21367.1203
4. Jang Ah Kim and Dominic J Wales and Guang-Zhong Yang,Optical spectroscopy for in vivo medical diagnosis—a review of the state of the art and future perspective,Progress in Biomedical Engineering 2020,2(4), doi:0.1088/2516-1091/abaaa3.
5. Allahdadi E, Shirkavand A, Mohajerani E, Mansouri P, Almasi A, Sherafat SJ. Optimizing parameters of the Pulsed Dye Laser (PDL, 585-nm) for hemangioma treatment using diffuse reflectance spectroscopy. J Cosmet Dermatol. 2022 Dec;21(12):6798-6804. doi: 10.1111/jocd.15430. Epub 2022 Oct 31. PMID: 36181704.
6. Carpenter DJ, Sajisevi MB, Chapurin N, Brown CS, Cheng T, Palmer GM, Stevenson DS, Rao CL, Hall RP, Woodard CR. Noninvasive optical spectroscopy for identification of non-melanoma skin cancer: Pilot study. Lasers Surg Med. 2018 Mar;50(3):246-252. doi: 10.1002/lsm.22786. Epub 2018 Jan 13. PMID: 29331035; PMCID: PMC6407423.
7. Adão T, Hruška J, Pádua L, Bessa J, Peres E, Morais R, Sousa JJ. Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry. Remote Sensing. 2017; 9(11):1110. https://doi.org/10.3390/rs9111110
8. Geldof F, Dashtbozorg B, Hendriks BHW, et al. Layer thickness prediction and tissue classification in two-layered tissue structures using diffuse reflectance spectroscopy. Sci Rep 12, 1698 (2022). https://doi.org/10.1038/s41598-022-05751-5
   Analysis of optical absorption of photoaged human skin using a high-frequency illumination microscopy analysis system_2023.
9. AggarwaPl, PapayFA, Applications of multispectral and hyperspectral imaging in dermatology, experimental dermatology, 2022, https://doi.org/10.1111/exd.14624
10. Lu G, Fei B. Medical hyperspectral imaging: a review. J Biomed Opt. 2014 Jan;19(1):10901. doi: 10.1117/1.JBO.19.1.010901. PMID: 24441941; PMCID: PMC3895860.
11. Marghoob NG, Liopyris K, Jaimes N. Dermoscopy: A Review of the Structures That Facilitate Melanoma Detection. J Am Osteopath Assoc. 2019 Jun 1;119(6):380-390. doi: 10.7556/jaoa.2019.067. PMID: 31135866.
12. Boulvert F, Boulbry B, BrunGLe, JeuneBLe, Rivet S, Cariou J. A Comparison of entropy and polarization memory rate behaviors through a study of weakly-anisotropic depolarizing biotissues. Optics Communications, 2007, 272(2), 534-538, https://doi.org/10.1016/j.optcom.2006.11.067

13. Yaroslavsky AN, FengX, Neel VA, Polarization Optical Imaging of Skin Pathology and Ageing Author links open overlay panel, Chapter 22, Imaging in Dermatology, 2016, Pages 291-325, Academic Press.

14. Hunt B, Ruiz A, Pogue B. Smartphone-based imaging systems for medical applications: a critical review. J Biomed Opt. 2021 Apr;26(4):040902. doi: 10.1117/1.JBO.26.4.040902. PMID: 33860648; PMCID: PMC8047775.

15. Rabha D, Sarmah A, Nath P. Design of a 3D printed smartphone microscopic system with enhanced imaging ability for biomedical applications. J Microsc. 2019 Oct;276(1):13-20. doi: 10.1111/jmi.12829. Epub 2019 Sep 22. PMID: 31498428.

16. Phillips ZF, D'Ambrosio MV, Tian L, Rulison JJ, Patel HS, Sadras N, Gande AV, Switz NA, Fletcher DA, Waller L. Multi-Contrast Imaging and Digital Refocusing on a Mobile Microscope with a Domed LED Array. PLoS One. 2015 May 13;10(5): e0124938. doi: 10.1371/journal.pone.0124938. PMID: 25969980; PMCID: PMC4430423.

17. Ehsan Allahdadi 1, Afshan Shirkavand 2, Ezeddin Mohajerani 1, Parvin Mansouri 2, Ali Almasi 1, Somayeh Jahani Sherafat . Optimizing parameters of the Pulsed Dye Laser (PDL, 585-nm) for hemangioma treatment using diffuse reflectance spectroscopy. 2022 Oct 31. DOI: 10.1111/jocd.15430.